

---

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ АГРАРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ УКРАИНЫ**

---

**Крачок Людмила Игоревна**, асп.

Уманский национальный университет садоводства, ул. Институтская, 1, г. Умань,  
Черкасская обл., Украина, 20305; e-mail: lyudmila.lyuta@mail.ru

*Цель:* Статья посвящена вопросам моделирования технологической готовности аграрных предприятий Украины, исходя из состояния их инновационного потенциала. *Обсуждение:* Учитывая специфичность функционирования сельского хозяйства, возможность технологического оснащения производства, а особенно технологическая готовность предприятий зависит от ряда факторов. Исследование влияния этих факторов автор совершает с помощью многофакторного анализа. *Результаты:* Автором проведено моделирование технологической готовности аграрных предприятий с использованием корреляционно-регрессионного анализа. Рассчитаны точечный и интервальный прогнозы доли инновационно активных предприятий в аграрной отрасли. Определено качество прогноза.

**Ключевые слова:** технологическая готовность, корреляционно-регрессионная модель, прогнозирование, аграрные предприятия, инновационная активность.

### **1. Введение**

Конкурентоспособность и эффективное функционирование аграрной отрасли страны определяется не столько имеющимися природно-хозяйственными ресурсами, сколько внедрением новейших научных, технологических разработок, способных в корне изменить существующую систему сельскохозяйственного производства соответственно со стратегическими направлениями инновационного развития [5, с. 272].

Особенности аграрного производства определяют специфику инновационной деятельности сельскохозяйственных предприятий и ее зависимость от многих факторов, в частности: производственных, материально-технических, научно-технологических, эколого-техногенных. Подробный анализ взаимозависимости предпосылок инновационного развития аграрной отрасли позволит определить ключевые составляющие, определяющие ее экономический рост и обеспечение продовольственной, экономической и технологической безопасности страны в целом.

Учитывая это, особую актуальность приобретает вопрос определе-

ния зависимости технологической готовности и состояния инновационной активности аграрных предприятий от различных факторов их деятельности. Анализ этого вопроса проведем с использованием средств экономико-математического моделирования.

## **2. Анализ последних публикаций**

Проблему моделирования научно-технологического и инновационного развития сельского хозяйства исследовали как отечественные: Н.К. Васильева, Л.С. Крючко, М.В. Ордеживський, Л.И. Федулова, так и зарубежные ученые: А.М. Носонов, Г.С. Прокопьев, И.А. Романенко, Т.В. Чернова и другие. Однако специфика сельского хозяйства требует дополнительного исследования моделирования технологической готовности предприятий аграрной отрасли.

## **3. Цель статьи**

Целью статьи является моделирование и прогнозирование технологической готовности сельскохозяйственных предприятий на основе результатов их инновационной активности.

## **4. Изложение основных результатов исследования**

Для проведения моделирования технологической готовности аграрных предприятий применяется регрессионная модель, в которой объясняемая переменная представляется в виде функции от объясняющих переменных. В нашем случае регрессионная модель будет многофакторной:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_mx_m + e, \quad (1)$$

где  $y$  – регрессант;  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – регрессоры;  $a_0, a_1, \dots, a_m$  – коэффициенты регрессии;  $e$  – стохастическая составляющая (остатки).

Построение регрессионной модели начинается с выдвижения гипотезы о взаимосвязи между результативным признаком и зависимыми переменными. Такая гипотеза строится на основе проведенных исследований, по которым определяется регрессант и регрессоры модели [2]. В данном случае модель имеет следующие переменные:  $y$  – доля инновационно активных аграрных предприятий, %;  $x_1$  – удельный вес обновленных основных средств в сельском хозяйстве, %;  $x_2$  – количество органических хозяйств в аграрной отрасли, ед.;  $x_3$  – доля расходов на выполнение НИОКР в сельском хозяйстве, %;  $x_4$  – количество созданных новых сортов растений (пород животных), ед.;  $x_5$  – количество аграрных формирований, которые внедряли инновации, ед.;  $x_6$  – финансирование НИОКР аграрными предприятиями, тыс. грн.;  $x_7$  – уровень рентабельности сельскохозяйственного производства, %.

Следующим этапом является формирование совокупности наблюдений. В целях обеспечения достоверности моделирования технологической готовности аграрных предприятий информационной базой модели выступают статистические данные производственной, материальной, научно-технической сфер их деятельности за последние десять лет (табл. 1).

Параметризация модели осуществляется с помощью классического метода наименьших квадратов и имеет следующий вид:

$$y = 1,1133 - 0,0490x_1 - 0,0009x_4 + 0,0016x_5. \quad (2)$$

Верификация модели или определение ее достоверности осуществляется с целью выявления и устранения статистически незначительных параметров, гетероскедастичности, автокорреляции и мультиколлинеарности.

Таблица 1  
Первичные данные корреляционно-регрессионной модели технологической готовности предприятий аграрной отрасли

Год	Зависимая переменная	Независимые переменные						
	$y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
2000	1,1	3,4	25	5,4	423	340,0	6743,8	-1,0
2004	1,3	8,0	70	5,4	642	762,0	22011,3	8,1
2005	1,4	8,5	72	5,3	663	868,0	26047,8	6,8
2006	1,6	6,6	80	5,3	681	894,0	20711,9	2,8
2007	1,6	7,9	92	5,6	732	920,0	19480,8	15,1
2008	1,8	10,8	118	5,9	552	1072,0	24842,9	7,7
2009	1,8	7,1	121	5,8	608	1017,0	20023,6	8,7
2010	1,9	7,2	142	5,8	592	1087,0	20806,8	17,5
2011	2,1	7,2	155	5,7	518	1203,0	26407,9	19,3
2012	2,3	7,2	164	2,5	471	1173,0	16338,2	16,2

Источник: [1] и собственные расчеты автора

Для выявления статистически значимых параметров модели построим корреляционную матрицу переменных (табл. 2).

Таблица 2  
Корреляционная матрица переменных модели

Переменные	$y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$Y$	1							
$x_1$	0,31907	1						
$x_2$	0,97778	0,39622	1					
$x_3$	-0,43840	0,126196	-0,32189	1				
$x_4$	-0,21088	0,423542	-0,15001	0,36816	1			
$x_5$	0,91044	0,612647	0,941789	-0,1959	0,12965	1		
$x_6$	0,33724	0,803719	0,434852	0,29118	0,50818	0,67698	1	
$x_7$	0,77790	0,32375	0,845667	-0,19431	0,04227	0,79548	0,42566	1

Источник: собственные расчеты автора

Также определим расчетный критерий Стьюдента (с вероятностью  $\alpha = 0,05$ , степенями свободы  $n-m$ , где  $n$  – количество наблюдений,  $m$  – количество параметров модели, в том числе  $\alpha_0$ ) для каждого регрессора. Таким образом, параметры модели являются статистически значимыми (табл. 3), поскольку выполняется условие  $t_{\text{факт.}} > t_{\text{теор.}}$ .

Для определения адекватности модели рассчитаем критерий Фишера –  $F_{теор.} = 5,14325$  (вероятность  $\alpha = 0,05$ , с  $\nu_1 = 2$  и  $\nu_2 = 6$ ). Фактическое значение критерия Фишера равно  $F_{факт.} = 62,96788$ . Поскольку  $F_{теор.} < F_{факт.}$ , то модель является адекватной, имеет значимые переменными [4, с. 523].

Таблица 3

Оценка статистической значимости параметров модели

Регрессоры	Критерий Стьюдента	
	$t_{факт.}$	$t_{теор.}$
$x_1$ – удельный вес обновленных основных средств в сельском хозяйстве, %	2,42953	1,94318
$x_4$ – количество созданных новых сортов растений (пород животных), ед.	3,09387	
$x_5$ – количество аграрных формирований, которые внедряли инновации, ед.	11,85841	

Источник: собственные расчеты автора

Коэффициент множественной регрессии  $R = 0,9845$  обобщенной модели указывает на сильную силу связи между долей инновационно активных аграрных предприятий в их совокупности и долей обновленных основных средств в сельском хозяйстве ( $x_1$ ), количеством созданных новых сортов растений (пород животных) ( $x_4$ ) и количеством сельскохозяйственных предприятий, которые внедряют инновации в производство ( $x_5$ ). Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,9692$  свидетельствует о том, что удельный вес инновационно активных предприятий в аграрной отрасли на 96,9% зависит от факторов  $x_1$ ,  $x_4$ ,  $x_5$ .

Исследование мультиколлинеарности модели проведено по алгоритму Фаррара-Глобера [3, с. 128], включающему статистический критерий  $\chi^2$  («хи» – квадрат), и содержит следующие этапы:

1) нормализация регрессоров:

$$x_j^* = (x_i - x_{cp.}) / \sqrt{\sum_{i=1}^m (x_i - x_{cp.})^2}, \quad (3)$$

где  $x_i^*$  – нормализованное значение регрессоров;  $x_i$  – фактическое значение регрессоров;  $x_{cp.}$  – среднее значение регрессоров;

2) поиск корреляционной матрицы регрессоров:

$$r = X^* X^{*T}, \quad (4)$$

где  $X^*$  – матрица нормализованных значений регрессоров;  $X^{*T}$  – матрица транспонированная к матрице  $X^*$  (табл. 4).

Таблица 4

Транспонированная матрица нормализованных значений регрессоров

Нормализованные регрессоры	$x_1^*$	$x_4^*$	$x_5^*$
$x_1^*$	1	0,423542037	0,612647351
$x_4^*$	0,423542037	1	0,129649254
$x_5^*$	0,612647351	0,129649254	1

Источник: собственные расчеты автора

3) расчет определителя корреляционной матрицы и оценка его натурального логарифма:  $D = /r/ = 0,49575$  и  $\ln D = -0,70168$ ;

4) вычисление  $\chi^2$  по формуле:

$$\chi^2 = -[n-1 - 1/6 (2k+5)] \ln D, \quad (5)$$

где  $n$  – количество наблюдений;  $k$  – количество регрессоров;

5) определение теоретического значения  $\chi^2$  при уровне значимости  $\alpha=0,01$  и при степени свободы  $\nu = 3$ .

В результате расчетов получаем:  $\chi^2_{\text{факт.}} = 5,02874$ ,  $\chi^2_{\text{теор.}} = 11,34487$ . Так как  $\chi^2_{\text{факт.}} < \chi^2_{\text{теор.}}$ , то мультиколлинеарность в модели отсутствует, определенные параметры данной модели (удельный вес обновленных основных средств сельского хозяйства, количество созданных новых сортов растений (пород животных), количество агроформирований, внедряющих инновации) являются эффективными, а прогнозы регрессанта (доли инновационно активных аграрных предприятий) будут статистически целостными.

Проверка модели на автокорреляции (взаимозависимость остатков) найдем с помощью теста Дарбина-Уотсона [3, с. 171]. Определение фактического значения данного критерия производится по формуле:

$$DW_{\text{факт.}} = \sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})^2 / \sum_{i=1}^n e_i^2, \quad (6)$$

где  $e_i$  – предыдущее значение ошибки регрессанта, а  $e_{i-1}$  – следующее.

С данных таблицы значений Дарбина-Уотсона, при количестве регрессоров  $k=m-1=2$ , количестве наблюдений  $n=10$  и выбранном уровне значимости  $\alpha=0,05$ , теоретические значения критерия Дарбина-Уотсона имеют границы:  $DW_1=0,697$  и  $DW_2=1,641$ . Рассчитанное значение  $DW_{\text{факт.}} = 1,76061$ , находится в пределах  $DW_2 \div (4 - DW_2) = 1,641 \div 2,359$ , что свидетельствует об отсутствии в модели автокорреляции.

Выявление и устранение состояния, когда дисперсия остатков для каждого наблюдения меняется, а прогнозы регрессанта при этом будут сомнительными, проведем с помощью теста Гольдфельда-Квандта [3, с.151], следуя алгоритму:

1) упорядочивание значений исследуемых регрессоров  $x_i$ , от меньшего к большему и устранение  $c=4n/15$  значений, которые содержатся внутри ранжированного ряда;

2) расчет модели по каждой совокупности  $(n-c)/2$  наблюдений и определение суммы квадратов остатков в каждой модели;

3) вычисление критерия  $R_{xi}$  (отношение большей суммы квадратов остатков к меньшей), который приблизительно соответствует  $F$ -распределения, и равен:  $R_{x1} = S_2 / S_1 = 3,39294$ ;  $R_{x4} = S_1 / S_2 = 30,67945$ ;  $R_{x5} = S_2 / S_1 = 1,71251$ ;

4) сравнение вычисленного  $R_{xi}$  с теоретическим значением  $F$ -критерия при выбранном уровне значимости  $\alpha=0,05$  и степенях свободы  $\nu_1=\nu_2=1$ , где  $F=161,44764$ ;

5) по расчетам  $R_{x1}, R_{x2}, R_{x3} < F_{\text{теор.}}$ , поэтому гетероскедастичность модели отсутствует.

Таким образом, исследуемая математическая модель является адекватной, не мультиколлинеарной, не автокоррелированной, гомоскедастичной и имеет статистически значимые параметры, а также на ее основе можно проводить прогнозирование точечного и интервального прогнозов.

Точечный прогноз многофакторной регрессионной модели будет выглядеть:

$$y_{n+1} = a_0 + a_1 x_1^* + a_2 x_2^* + \dots + a_i x_i^* + \dots + a_m x_m^* \quad (7)$$

где  $x_1^*, x_2^*, \dots, x_i^*, \dots, x_m^*$  – прогнозные значения регрессоров.

Точечный прогноз доли инновационно активных предприятий в общей сумме всех сельскохозяйственных организаций при показателях доли обновления основных средств в 7,5%, создании 500 новых сортов растений (пород животных) и 1250 сельскохозяйственных производителей, которые внедряли инновации, составляет:

$$y_{n+1} = 1,1133 - 0,0459 * 7,5 - 0,0009 * 500 + 0,0016 * 1250 = 2,31905\%. \quad (8)$$

Индивидуальный прогноз строится на основе точечного прогноза и делится на: интервальный прогноз математического ожидания регрессанта; интервальный прогноз индивидуального значения.

Интервальный прогноз математического ожидания регрессанта равен:

$$M(y_{n+1}) = y_{n+1} \pm t_{(n-m; \alpha)} \sigma_n \quad (9)$$

$t_{(a, n-m)}$  – теоретическое значение  $t$  – критерия Стьюдента;  $\sigma_n$  – стандартная ошибка прогноза математического ожидания регрессанта, которая определяется по формуле:

$$\sigma_n = \sqrt{X_n^T \text{var}(\hat{A}) * X_n} \quad (10)$$

где  $X_n$  – прогнозный вектор регрессоров;  $X_n^T$  – транспонированный прогнозный вектор регрессоров.

Интервальный прогноз математического ожидания доли инновационно активных аграрных предприятий, построенный по данным созданной модели, равен:  $2,0499\% < M(y_{n+1}) < 2,5882\%$ .

Интервальный прогноз индивидуального значения рассчитывается следующим образом:

$$\hat{y}_{n+1} = y_{n+1} \pm t(\alpha) \sigma_{ni} \quad (11)$$

где стандартная ошибка  $\sigma_{ni}$  - прогноза индивидуального значения регрессанта  $\hat{y}_{n+1}$  вычисляется по формуле:

$$\sigma_{ni} = \sqrt{\sigma_{ni}^2} = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_n^2} \quad (12)$$

где  $\sigma_e$  – средний квадрат ошибки по модели.

Интервальный прогноз индивидуального значения регрессанта при указанных параметрах попадает в пределы:  $2,0977\% < \hat{y}_{n+1} < 2,5404\%$ .

Определение качества прогноза производится с помощью расчета абсолютной процентной ошибки *MAPE*:

$$MAPE = \left[ \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n |e_i| / y_i \right] * 100\% \quad (13)$$

Абсолютная средняя процентная ошибка прогноза  $MAPE=2,8\%$ , что подтверждает высокую точность прогноза и действенность построенной экономико-математической модели.

### 5. Заключение

Эконометрическое исследование зависимости отдельных показателей технологической готовности и результативности хозяйственной деятельности аграрных производителей позволило выявить тесную связь уровня внедрения новых технологий с возможностью обновления основных средств аграрной отрасли, созданием результатов селекционной и генетической индустрии в растениеводстве и животноводстве, а также с количеством хозяйствующих субъектов, участвовавших в трансфере технологий. Следовательно, и технологическая безопасность аграрной отрасли напрямую зависит от названных факторов, поэтому можно утверждать, что рост доступности технологий, их вовлечения в производственные процессы и технико-технологическое переоснащение отрасли будет способствовать повышению уровня ее технологической безопасности.

### Список источников

1. Данные государственной службы статистики Украины. Доступно: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Михальцов С.А. Теория и практика применения регрессионного моделирования на примере оценки инновационной активности экономического субъекта. *Материалы Региональной научно-практической Интернет-конференции «Статистика в современном мире: уроки истории, достижение, перспективы»*, 2013. Доступно: <http://212.57.183.10/conference2013/Lists/2013/Attachments/23/Михальцов%20С.А.pdf>.
3. Наконечный С.И., Терещенко Т.О., Романюк Т.П. *Эконометрия*. Киев, КНЭУ, 2006. 528 с.
4. *Технологический императив стратегии социально-экономического развития Украины*, под ред. Л.И. Федуловой. Киев, 2011. 656 с.
5. Юрченко А.Ю. Инновационный путь развития АПК Украины в условиях глобализации: современное состояние, проблемы и перспективы. *Научные труды Полтавской государственной аграрной академии. Серия: Экономические науки*, выпуск 4, том 3, с. 272-278.

---

# MATHEMATICAL MODELLING OF TECHNOLOGICAL AVAILABILITY OF UKRAINE AGRARIAN ENTERPRISES

---

**Krachok Liudmila Igorevna**, Post-graduate student

Uman National University of Horticulture, Institutska st., 1, Uman, Cherkassy reg., Ukraine, 20305; e-mail: lyudmila.lyuta@mail.ru

*Purpose:* The article deals with modeling of technological availability of Ukraine agrarian enterprises based on the status of their innovative capacity. *Discussion:* Given into account the specificity of the functioning of agriculture, the possibility of technological support for production and, especially, technological availability of enterprises depends on several factors. The author investigates the influence of these factors using multivariate analysis. *Results:* The author simulated technological availability of agrarian enterprises due to regression analysis. The point and interval forecast of the share of innovation active enterprises in the agricultural sector are calculated. The quality of forecast is defined in the article.

**Keywords:** technological availability, correlation-regression model, forecasting, agrarian enterprises, innovative activity.

## References

1. The data of the State Statistics Committee of Ukraine. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Mihaltsov S.A. Teoriya i praktika primeneniya regressionnogo modelirovaniya na primere otsenki innovatsionnoy aktivnosti ekonomicheskogo sub'ekta [Theory and practice of regression modeling on the example of innovative activity assessment of the economic subject]. *Materialyi Regionalnoy nauchno-prakticheskoy Internet-konferentsii «Statistika v sovremennom mire: uroki istorii, dostizhenie, perspektivy»*, 2013. Available at: <http://212.57.183.10/conference2013/Lists/2013/Attachments/23/MihaltsovS.A.pdf> (In Russ.).
3. Nakonechnyy S.I., Tereschenko T.O., Romanyuk T.P. *Ekonometriya* [Econometrics], Kiev, KNEU, 2006. 528 p. (In Russ.).
4. *Tehnologicheskyy imperativ strategii sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Ukrainy* [Technological imperative of strategy of social and economic development of Ukraine], in Fedulova L.I. (Ed.). Kiev, 2011. 656 p. (In Russ.).
5. Yurchenko A.U. Innovatsionnyy put razvitiya APK Ukrainy v usloviyah globalizatsii: sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy [Innovative way of development of agribusiness in Ukraine in the context of globalization: current status, problems and prospects]. *Nauchnyye trudy Poltavskoy gosudarstvennoy agrarnoy akademii. Seriya: Ekonomicheskie nauki*, Vypusk 4, Tom 3, pp. 272-278. (In Russ.).